



УДК 621.165

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЛАП ЦИЛИНДРА И РАБОТУ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВЫХ РАСШИРЕНИЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

### DEVELOPING A MODEL FOR STUDYING THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE MOVEMENT OF THE CYLINDER LEGS AND THE OPERATION OF THE THERMAL EXPANSION SYSTEM OF A STEAM TURBINE

**Власов Алексей Валерьевич**, магистрант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vlasov-av@bk.ru, Тел.: +7(932)114-97-43

**Мурманский Борис Ефимович**, доктор техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mbesng@mail.ru Тел.: +7(912)233-47-19

**Alexey V. Vlasov**, Master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vlasov-av@bk.ru. Ph.: +7(932)114-97-43

**Boris E. Murmanskii**, Doctor. Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mbesng@mail.ru. Тел.: +7(912)233-47-19

**Аннотация:** В статье представлен тепловой расчет цилиндра высокого давления турбин серии Т-250/300-240-2 производства ЗАО «УТЗ». Проанализирована работа турбины, при номинальной нагрузке. Представлена методика теплового расчета цилиндра.

**Abstract:** This article presents the thermal calculation of the high-pressure cylinder of turbines T-250 / 300-240-2 production of ZAO "UTZ". The operation of the turbine at rated load is analyzed. The method of thermal calculation of a cylinder is presented.

**Ключевые слова:** тепловые расширения; модернизация; турбина.

**Key words:** ; thermal expansions; modernization; turbine.

Одной из главных причин возникновения затрудненных тепловых перемещений паровых турбин является температурный перекося по металлу цилиндра. В результате неравномерного нагрева цилиндра возникают различные деформации, в следствии этого одна из сторон цилиндра становится длиннее другой. Это, как правило, приводит к смещению относительно друг друга элементов поперечных шпоночных соединений выполненных на лапах цилиндра (поперечных пазов или выступов). Данное смещение приводит к несимметричной передаче осевого усилия на корпус подшипника турбины, а так же, к созданию крутящего момента, действующего на корпус подшипника в горизонтальной плоскости.

Свободному повороту корпуса подшипника на опорной поверхности фундаментной рамы препятствуют направляющие («продольные

шпонки»), жёсткозакреплённые на ней. В результате взаимодействия боковых поверхностей паза в подошве корпуса подшипника и направляющих возникают сминающие силы в местах контакта, а также дополнительные силы трения, вызывающие дополнительную закрутку ригеля, которая приводит к расцентровке валопровода турбины и увеличению вибрации опор валопровода. Влияние описанного температурного перекося на работу системы тепловых расширений турбины можно снизить увеличением зазоров в паре «продольная шпонка–паз». Необходимо отметить, что, кроме величины зазора, на величину температурного перекося, при которой возникает контакт в паре «продольная шпонка–паз», существенное влияние оказывают геометрические размеры цилиндра (в частности – расстояние между лапами) и сопряжённого с ним корпуса подшипников (длина корпуса).

Глобальные изменения в экономике России начала 21 века вызвало крупное сокращение потребления тепловой и электрической энергии. Это привело к частым пускам, остановам и работе на переменных режимах турбин большой мощности. В связи с этим, новые условия работы турбин, проектировавшихся для работы в основном в базовом режиме, предъявляют повышенные требования к их маневренности, быстрому набору и сбросу как электрической так и тепловой нагрузки. В следствие вышеперечисленного, проблема тепловых перемещений многоцилиндровых паровых турбин стала весьма актуальной.

Система тепловых перемещений должна одновременно обеспечивать:

- свободное тепловое перемещение цилиндров и корпусов подшипников относительно фундаментных рам в заданных направлениях;
- надежное крепление цилиндров низкого давления к фундаментным рамам;
- надлежащее прилегание корпусов подшипников к фундаментным рамам;
- соосность проточной части, валопровода и расточек корпусов турбины и корпусов подшипников в заданных пределах;
- осевые зазоры между деталями ротора и статора турбины в заданных пределах.

Большое влияние на систему тепловых расширений оказывают силы трения, возникающие в паре "продольная шпонка - паз в подошве корпуса подшипника". Данные силы могут достигать таких значений при которых корпус подшипника заклинивает на продольных шпонках.

Возможные последствия приведены ниже:

- заклинивание поперечно - шпоночного соединения одной из лап корпуса;
- неодинаковость тепловых расширений в продольном направлении лап корпуса турбины, а так же разные тепловые зазоры в поперечных шпонках лап;
- горизонтальные составляющие усилий от паропроводов, присоединенных к корпусам турбины;

Основные способы предотвращения заклинивания в поперечно - шпоночном соединении заключаются в :

- снижении сил трения в поперечно - шпоночном соединении;
- увеличении зазоров поперечно - шпоночного соединения;
- изменение конструкции поперечно - шпоночного соединения;

Во время эксплуатации турбин Т-250/300-240-2 было обнаружено неравномерное расширение опорных лап, что зачастую приводит к заклиниванию поперечно шпоночного соединения. Далее происходит сверхнормативное

закручивание ригелей, расцентровка валопровода и повышенная вибрация. Коэффициент линейного теплового расширения для стали, в зависимости от марки стали и диапазона температуры, колеблется в пределах от  $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$  до  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$ . Для оценочных расчетов можно принимать, что нагрев стального тела длиной 1 м на  $100^\circ\text{C}$  дает удлинение на 1 мм.

Температура пара на входе в ЦВД современных паровых турбин достигает  $565^\circ\text{C}$ , а на выходе из ЦВД пар, в зависимости от типа турбин, имеет температуру от  $250^\circ\text{C}$  до  $380^\circ\text{C}$ . Опыт эксплуатации показал, что удлинение опорных лап, находящихся в головной части турбины, в поперечном направлении составляет примерно 3,5 мм.

Исследования по данной тематике выявили отсутствие расчетных моделей описывающих тепловое расширение, а решения в возникающих вопросах эксплуатации принимались на основе приобретенного опыта.

Главной целью исследования является повышение надежности работы цилиндра высокого давления (ЦВД), за счет снижения напряжений в наиболее нагруженных узлах.

В связи с этим необходимо разработать конструкцию ЦВД, которая будет обеспечивать надежную работу турбины. Решение этой задачи нами проводится методом численного математического моделирования на основе вариантных расчетов на прочность, реализуемого с помощью современных программных средств.

Так как нет экспериментального подтверждения высказанных версий, необходимо провести комплексный тепловой расчет.

Одним из путей решения поставленной задачи является создание новой конструкции, которая бы исключала недостатки существующего ЦВД.

С помощью программы трехмерного моделирования Solidworks 2015, для верификации расчетов была построена твердотельная 3D модель ЦВД турбины Т-250/00-240 УТЗ (масштаб 1:1) рис.1

Далее выполнено разбиение модели ЦВД на области с регулярной сеткой конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Mechanical 14.5 (рис.2). На этой стадии выбиралась оптимальная форма и размеры элементов с целью получения максимально возможного количества областей.

Ограничения по перемещению задавались на продольный разрез ЦВД. На рис. 3.1 показана система координат, относительно которой задается ограничение перемещения цилиндра. На рис. 3.2 показана система координат, относительно которой задаются ограничения перемещения лап цилиндра.

Расчет выполняется с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS Mechanical 14.5.

Следующим этапом выполняется задание нагрузок действующих на цилиндр:

- поле температур (табл.1 и рис.4.1).

Полученные результаты расчета можно увидеть на рисунках 4.2 и 4.3.

Таблица 1.

Поле температур ЦВД

Номер уплотнения	Температура пара, °C
I	246
II	332
III	372
IV	337
V	372
V III	246
IX	246
Проточная часть	409
Отбор на ПВД-8	337
Пар на пром. перегрев	299

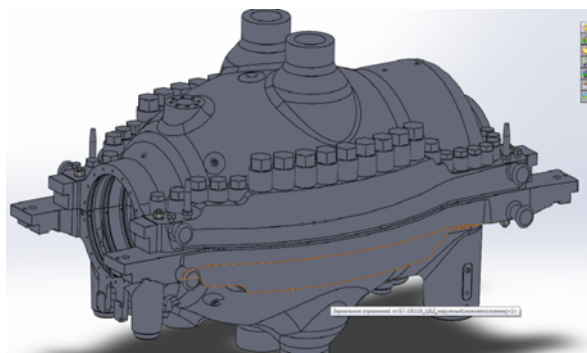


Рис. 1. Модель цилиндр высокого давления

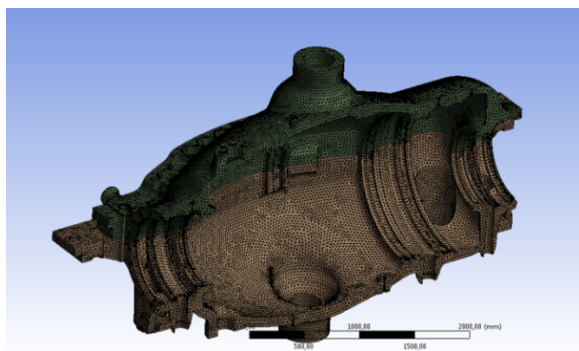


Рис. 2. Разбиение цилиндра на конечные элементы

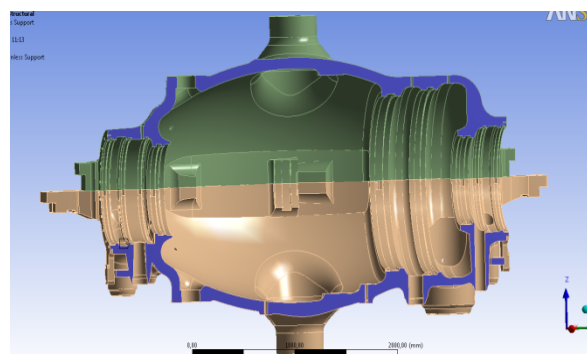


Рис. 3.1. Ограничения по перемещению цилиндра

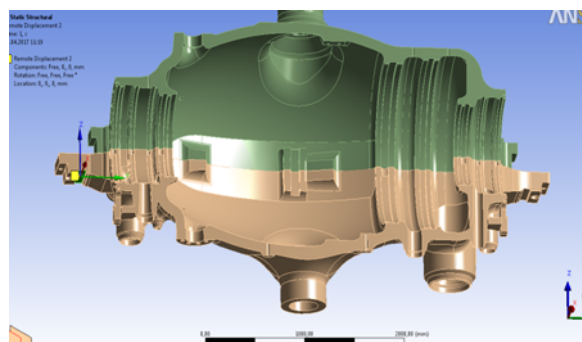


Рис. 3.2. Ограничения перемещения лап цилиндра

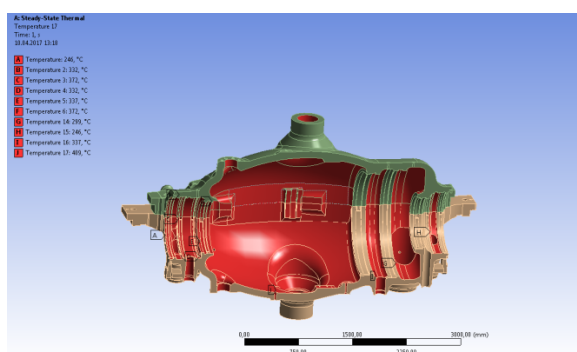


Рис. 4.1. Поле температур ЦВД

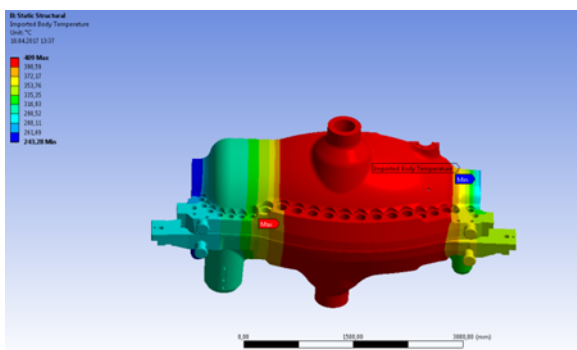


Рис. 4.2. Распределение температур по внешней части ЦВД

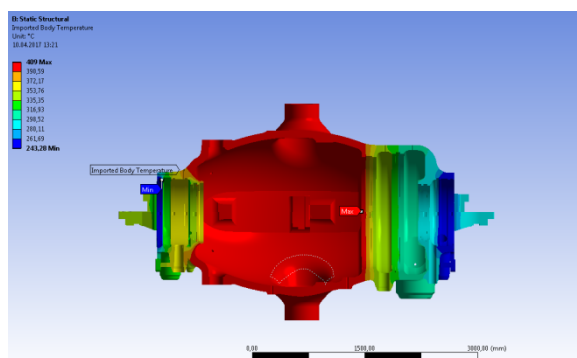


Рис. 4.3. Распределение температур во внутренней частив ЦВД

Под действием температур (см. табл.1) цилиндр расширяется. В результате лапы имеют температурный перекося:

- со стороны цапфы, внешней части корпуса цилиндра (см. рис.5.1) лапа в среднем расширилась от 3,6 до 4,1. Для удобства просмотра данные приведены в табл. 2. (отчет идет слева направо).

Таблица 2.

Данные температурного расширения лапы цилиндра

Данные температурного расширения лапы цилиндра по 6 точкам		
точка 1	точка 2	точка 3
4,145 мм.	3,648 мм.	3,594 мм.
точка 4	точка 5	точка 6
4,081 мм.	3,577 мм.	3,540 мм.

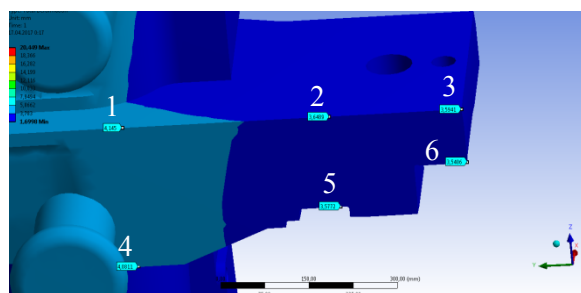


Рис. 5.1. Температурное расширение лапы цилиндра

- торец лапы расширился в среднем от 2,1 мм до 3,59 мм. (см. рис 5.2 и табл.3)

Таблица 3.

Данные температурного расширения лапы цилиндра

Данные температурного расширения лапы цилиндра по 6 точкам		
точка 1	точка 2	точка 3
2,143 мм.	3,007 мм.	3,590 мм.
точка 4	точка 5	точка 6
2,061 мм.	3,007 мм.	3,538 мм.

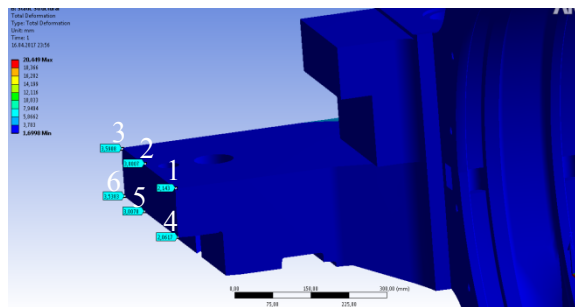


Рис. 5.2. Температурное расширение лапы цилиндра

- задняя лапа имеет аналогичный температурный прогиб в среднем от 1,7 мм. до 2,9 мм. со стороны торца лапы, а также, от 2,9 мм. до 3,4 мм. со стороны внешней части корпуса цилиндра.

По результатам данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Была разработана модель цилиндра высокого давления паровой турбины Т-250/300-240-2 позволяющая оценить перемещение лап и стенок цилиндра при различных режимах работы турбоагрегата.
2. Выявлено, что лапа цилиндра при номинальном режиме работы турбины имеет температурный перекося, что отрицательно сказывается на работе системы тепловых расширений.
3. Результаты теплового расчета полученные в ходе исследования схожи с результатами опыта эксплуатации и могут быть использованы для расчетного анализа влияния конструктивного исполнения ЦВД и режимов его работы на его напряженно-тепловое состояние.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сосновский А.Ю., Система тепловых расширений паровых турбин / А.Ю. Сосновский Б.Е. Мурманский, Ю.М. Бродов; под общ. ред. Ю.М. Бродова. 2015.-С. 6-45.
2. Трухний, А.Д. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 640 с.
3. Турбина паровая типа Т-250/300-240-2. Расчетно справочные данные // Екатеринбург: ПО "Турбомоторный завод", 2010. - С. - 2-30.